



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Prospectiva tecnológica de los vehículos acorazados. Alternativas para la implantación de un sistema acústico detector de disparos en las unidades acorazadas/mecanizadas.

Autor

CAC. D. Juan Arenas Montoya

Director/es

Director académico: Dr. D. Carlos Sáenz Royo
Director militar: Cap. D. Íñigo Guridi Bermúdez

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
2020

Repositorio de la Universidad de Zaragoza – Zaguán
<http://zaguán.unizar.es>

Resumen

En el presente trabajo se realiza una prospectiva tecnológica de los vehículos acorazados. Para hacer frente a los futuros teatros de operaciones, las nuevas amenazas del combate obligarán a los ejércitos a crear actualizaciones en sus unidades acorazadas, mediante la implantación de dispositivos que les permitirán actuar de la forma más eficaz posible en el campo de batalla.

Actualmente, los ejércitos están inmersos en un constante proceso de innovación de materiales. De entre éstos, se estudiará la posible implantación de un sistema de detección de disparos en los vehículos de las unidades terrestres.

Se utiliza el Análisis Jerárquico de Procesos (AHP por sus siglas en inglés) para comparar distintas alternativas presentes en el mercado, que puedan ser usadas por el Ejército de Tierra español, obteniendo así la opción más idónea a través de un criterio lo más objetivo posible. Los resultados del análisis muestran la forma de proceder ante un problema multicriterio con diferentes alternativas, diversos requisitos técnicos y criterios cualitativos. El resultado de este análisis es que la alternativa que mejor se adapta a las necesidades de la Caballería española es el sistema Pilar V de la empresa Metravib Defence.

Palabras clave: Sensor acústico detector de disparos, modelo AHP, medios acorazados, amenazas.

Abstract

The following project carries out a technological prospective of armored vehicles. In order to combat in future Operation Zones, new threats will force armies to actualize their vehicles with some gadgets that permit them to fight effectively.

Nowadays, armed forces are performing a progressive research of new materials to maintain combat superiority. The possibility of introduce a gunshot detector in vehicular units of the Spanish Army will be studied in this analysis.

Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) model, the most suitable solution will be obtained from some alternatives presented under some criteria defined. The results shown the way to proceed with a multicriteria problem under different alternatives and some technical and qualitative requirements. After the application of the AHP model, the best chosen option is Pilar V from Metravib- Defence.

Keywords: Gunshot detector, AHP model, armored vehicles, threats

Agradecimientos

A toda mi familia, por toda la confianza y apoyo recibido durante toda mi vida, así como durante mi formación castrense. En especial a mis padres y mi hermana. A mi compañera de vida. A todos mis amigos.

Al Coronel del Regimiento Córdoba nº 10 por sus reflexiones, así como todos los conocimientos que me ha otorgado el GCAC Almansa II/10, al Tcol Bartel por dejarme participar en todas las actividades del Grupo, al Cap. Guridi por su gran visión de este ejército y sobre todo, al Cap. Vega, Tte. Castelló y Tte. Martínez por su gran acogida y cercanía mostrada. Al personal del segundo Escuadrón. También mostrar mi agradecimiento al Dr. Carlos Sáenz por la tutorización de este trabajo.

A mi abuelo Rafael, por haber sido un referente en mi vida y porque sé que me acompaña en todo este proceso.

A todos ellos, muchas gracias.

“La constancia y el estudio hacen a los hombres grandes, y los hombres grandes, son el porvenir de la Patria” B. Juárez

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
LISTA DE ABREVIATURAS	III
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Evolución de los vehículos acorazados	2
1.2.1 Los medios acorazados de primera generación.....	3
1.2.2 Vehículos acorazados de segunda generación.....	3
1.2.3 Vehículos acorazados de tercera generación.....	4
1.2.4 Vehículos acorazados de cuarta generación	4
1.2.5 Vehículos acorazados de quinta generación	4
CAPÍTULO 2. PROSPECTIVA TECNOLÓGICA EN LAS UNIDADES DE CABALLERÍA E INFANTERÍA.	6
2.1 Principales tendencias tecnológicas de las unidades acorazadas.	6
2.2 Sensores acústicos detectores de disparos	11
2.2.1 Partes del sistema	11
2.2.2 Funcionamiento del sistema	12
2.2.3 Alternativas del mercado.....	13
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA. EL MODELO AHP	15
3.1 Los problemas multicriterio.....	15
3.2 Etapas del modelo AHP	15
3.2.1 Definir los criterios y subcriterios de decisión	16
3.2.2 Evaluar y jerarquizar los diferentes criterios y subcriterios mediante la comparación por pares.....	18
3.3. Jerarquización de alternativas tras la aplicación del método.	22
CAPÍTULO IV: LÍNEAS FUTURAS Y CONCLUSIONES	27
4.1 Tendencias futuras.....	27
4.2 Conclusiones.....	28
BIBLIOGRAFÍA.....	30
ANEXOS	33
ANEXO A: CAMBIOS ACTUALES EN EL EJÉRCITO DE TIERRA (PLAN DE TRANSICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA FUERZA 2018)	35
ANEXO B: ESTRUCTURA DEL CARRO DE COMBATE T-14 ARMATA	37
ANEXO C: BARCAZA MODULAR CONTRA IED.	39
ANEXO D: CUESTIONARIO RELACIONADO CON EL CASO ESTUDIADO.	41
ANEXO E: DATOS DE LA CONSISTENCIA DE LAS DIFERENTES MATRICES DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones técnicas dispositivo Pilar V de la empresa Metravib.	14
Tabla 2: Especificaciones técnicas dispositivo Boomerang.....	14
Tabla 3: Especificaciones técnicas dispositivo Vehicle Based Gunshot Localisation System de la empresa Microflown Avisa.....	14
Tabla 4: Escala de preferencias propuesta por Saaty.	18
Tabla 5: Resultados de ponderaciones de criterios y subcriterios.	18
Tabla 6: Intervalos de ponderación según resultados.	19
Tabla 7: Matriz de criterios.	19
Tabla 8: Matriz normalizada de criterios.	20
Tabla 9: Matriz de pesos de los criterios calidad e integración en las unidades.	20
Tabla 10: Valores de CA según el tamaño de la matriz normalizada.....	21
Tabla 11: Matriz evaluación alternativas del sub-criterio calidad.....	22
Tabla 12: Matriz evaluación alternativas del sub-criterio integración en unidades.	22
Tabla 13: Matriz evaluación alternativas del subcriterio sensibilidad.	23
Tabla 14: Matriz evaluación alternativas del sub-criterio información suministrada por el aparato.	23
Tabla 15: Matriz evaluación alternativas del sub-criterio integración en el Programa BRI 2035.....	24
Tabla 16: Matriz evaluación alternativas del sub-criterio facilidad de integración.	24
Tabla 17: Matriz de decisión final.....	25
Tabla 18: Cálculo de la consistencia del sub-criterio sensibilidad.	49
Tabla 19: Cálculo de la consistencia del sub-criterio Información suministrada por el dispositivo. ...	49
Tabla 20: Cálculo de la consistencia del sub-criterio Integración en el Programa BRI 2035.	49
Tabla 21: Cálculo de la consistencia del sub-criterio Facilidad de integración en las unidades.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sensor acústico del sistema Boomerang.....	12
Figura 2: Ordenador y pantalla del sistema Boomerang.	12
Figura 3: Croquis del montaje de un sistema detector de disparos en un Vehículo de Alta Movilidad Táctica (VAMTAC).	12
Figura 4: Diagrama en forma de árbol jerárquico según el proceso AHP.....	17
Figura 5: Barcaza modular del vehículo Foxhound.	39

LISTA DE ABREVIATURAS

AFV	VEHÍCULO BLINDADO DE COMBATE
APS	SISTEMA DE PROTECCIÓN ACTIVA
ATP	AUTOPROPULSADA
CC	CARRO DE COMBATE
ECM	MEDIDAS CONTRA ELECTROMAGNÉTICAS
EPM	MEDIDAS DE PROTECCIÓN ELECTROMAGNÉTICA
EW	GUERRA ELECTRÓNICA
GNSS	SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE
IED	EXPLOSIVO IMPROVISADO
IED	EXPLOSIVO IMPROVISADO
ONG	ORGANIZACIÓN NO GUBERNAMENTAL
OTAN	ORGANIZACIÓN DEL TRATADO DEL ATLÁNTICO NORTE
PGM	PRIMERA GUERRA MUNDIAL
PIB	PRODUCTO INTERIOR BRUTO
RCWS	ESTACIÓN DE CONTROL DE ARMAMENTO REMOTA
SGM	SEGUNDA GUERRA MUNDIAL
UE	UNIÓN EUROPEA
URSS	UNIÓN SOVIÉTICA
VLP	VEHÍCULO LANZAPUENTES

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La rápida evolución tecnológica y social de los últimos tiempos ha generado una amplia diversidad de conflictos y amenazas. Esto ha obligado a los ejércitos a que tengan que actualizar la doctrina militar y el material bélico para hacer frente de forma efectiva a las nuevas vicisitudes del campo de batalla [1].

Durante la época napoleónica, el combate se basaba en la táctica de línea y columnas con ejércitos muy numerosos, y que un bando saliera victorioso dependía en gran medida de la disposición del personal para combatir. Sin embargo, la invención de la ametralladora (1884) hizo que los ejércitos se adaptaran a éste arma, naciendo así un nuevo concepto de combate, la guerra de trincheras, que caracterizó a la Primera Guerra Mundial (PGM).

Durante el periodo de Entreguerras (1918-1939), la aparición de los carros de combate en la industria europea permitió a los países que los poseían, aumentar la potencia de combate y la protección de las unidades considerablemente. Esto hizo que los diferentes ejércitos, no solo tuvieran la necesidad de innovar en la obtención de este sistema de armas, sino en materiales contra-carro, así como en una fuerza aérea eficaz que permitiera inhibir la capacidad de combate de estos vehículos.

Sin embargo, durante los últimos años del siglo pasado, los enfrentamientos han evolucionado a un combate asimétrico, se lucha en un entorno donde ya no solo existen unidades aliadas y enemigas, sino que el campo de batalla presenta personal no combatiente [2]; lo que provoca que las unidades tengan que discernir entre enemigo y civiles en el mismo escenario. Para ello, las fuerzas armadas actualizan nuevos procedimientos para este tipo de conflicto, tales como la instrucción y adiestramiento del combate en zonas urbanizadas.

A la vez que el arte de la guerra está en continuo desarrollo, la tecnología también. Las innovaciones tecnológicas se han ido implantando de manera progresiva en los materiales militares con el fin de obtener ventaja sobre el adversario. La aparición de los primeros ordenadores ha generado un remarcable desarrollo en robótica, inteligencia artificial y otras tecnologías, unido al incremento en inversión de los gobiernos en I+D para conseguir una defensa del territorio más efectiva [3]. Hoy por hoy, se hace imprescindible el uso de tecnología en los diferentes medios castrenses para vencer en el campo de batalla en el menor tiempo posible y con el menor número de bajas propias.

Uno de los principales medios que en la última década han sido producto de numerosas modificaciones y actualizaciones tecnológicas, son los vehículos acorazados. Constantemente se están incorporando nuevos modelos de carro en los ejércitos, como ejemplo, el ejército israelí con el carro de combate Merkava IV en sus divisiones acorazadas, así como el ejército ruso, su novedoso T-14 Armata. En el caso de España, el Leopard 2-E (actualización de la versión alemana del Leopard 2A6) fue introducido en las unidades de nuestro ejército bajo el Programa Coraza (2003), permitiendo mejorar los medios acorazados de ese momento (Leopard 2A4 y M60). No obstante, la evolución tecnológica continúa para evitar la desactualización tecnológica frente al evolutivo campo de batalla.

Dentro de la introducción de nuevos dispositivos que faciliten el combate, los detectores de disparos son una herramienta que ejércitos como el estadounidense o el francés, han implantado en diferentes unidades con el ánimo de poder detectar localizaciones de amenazas más fácilmente. En el presente trabajo se estudiará la posibilidad de introducir este artefacto en unidades acorazadas/blindadas del Ejército de Tierra. Para ello, se realizará un estudio de diferentes alternativas y se procederá a realizar una elección entre las mismas aplicando el Análisis Jerárquico de Procesos o modelo AHP.

1.1 Objetivos

En el presente trabajo se pretende alcanzar dos objetivos:

- Realizar una prospectiva de las diferentes tecnologías que se implantan en las unidades Mecanizadas/Acorazadas para poder hacer frente a las nuevas contingencias del campo de batalla.
- Y proponer como se puede realizar la selección de una nueva tecnología utilizando la metodología AHP. Concretamente se estudia cual sería el mejor detector acústico de disparo a implantar en las unidades mecanizadas/acorazadas del Ejército de Tierra.

1.2 Evolución de los vehículos acorazados

El primer prototipo blindado surgió en Alemania, país que ya a finales del siglo XVIII había demostrado su capacidad para generar buenos motores [4]. Entre 1903 y 1905, la sociedad Daimler realizó un primer prototipo de blindado, el Gepanzertlastwagen (camión blindado). Éste, fue usado como Caballería acorazada durante ejercicios de instrucción. El material creó gran

expectación en los ejércitos del mundo por su novedad. Como consecuencia, el resto de países comenzaron un constante proceso de innovación en medios acorazados que a día de hoy continúa [4].

1.2.1 Los medios acorazados de primera generación

Durante la década de 1910, el primer ministro del Reino Unido, W. Churchill (1940-1945; 1951-1955), quería innovar su material bélico mediante la introducción de los vehículos acorazados en su ejército. Este programa usó el nombre en clave de *tanque* con el fin de enmascarar el material del que se trataba, ya que éste generaría una nueva visión de la doctrina castrense de los ejércitos de Europa, junto con el comienzo de una futura “guerra industrial”, económica y propagandística [4]. El Primer Ministro pretendía combinar una protección, gracias a una coraza blindada, junto con una capacidad de transporte bajo un tren de rodajes de cadenas y armamento automático capaz de ser usado desde dentro del habitáculo. El proyecto finalizó cuando en 1916, el ejército británico incorporó en sus filas durante la PGM al primer vehículo acorazado, el Mark I [4].

Este carro, aunque con una velocidad y autonomía muy limitada¹, conseguía sobrepasar grandes taludes, trincheras y nidos de ametralladoras en el campo de batalla, con una capacidad de transportar hasta siete combatientes. Este vehículo permitiría asaltar las posiciones enemigas. La introducción de los primeros medios acorazados en el combate causó efectos demoledores en la moral de los enemigos, obligando a los ejércitos a innovar en nuevos sistemas de armas contra estos nuevos materiales durante el periodo de la Gran Guerra [4].

1.2.2 Vehículos acorazados de segunda generación

El programa *tanque* conllevó grandes cambios en la táctica militar y una revolucionaria industria en medios blindados/acorazados a nivel global [5], donde los diferentes países trataban de conseguir este novedoso sistema de armas junto con la introducción de nuevas mejoras a los mismos. Fue entonces cuando nació el carro medio. Esto generó una nueva gama de vehículos acorazados con una mayor movilidad, velocidad y autonomía, aunque menor protección², bajo una estructura novedosa que a día de hoy continúa usándose: torre y barcaza totalmente diferenciadas. Estos nuevos medios fueron usados durante la Revolución Bolchevique en la estepa

¹ El Mark I apenas alcanzaba los 5 km/h en terrenos llanos.

² Datos extraídos del Manual de Sistemas de Armas de la Caballería.

rusa (1919-1920), así como en operaciones defensivas contra huelgas en el territorio inglés a comienzos del siglo XX [4].

1.2.3 Vehículos acorazados de tercera generación

A excepción de la Alemania nazi y la Unión Soviética (URSS), ningún otro país actualizó su arsenal militar con tanta intensidad, calidad y eficacia [4] en los años previos de la Segunda Guerra Mundial (SGM). Éstos, llegaron a obtener los mejores medios militares del momento (grandes avances en artillería de campaña, fuerza aérea, armas, procedimientos de combate...) [6].

En el periodo de Entreguerras, tras la recuperación económica de Alemania y la URSS de la PGM, los dos países tomaron las riendas en el desarrollo de innovaciones para mejorar su material militar. Con ello, Alemania incorporó el Panzer IV F2, un nuevo concepto de carro de combate que cobraría una gran importancia entre los medios acorazados en la ya próxima SGM [7], gracias a las novedosas mejoras del mismo (mayor movilidad, aumento de calibre del cañón principal y mejora en el blindaje) en comparación a los medios acorazados de antaño. Además, en esta generación, la tecnología se introdujo en mayor medida en comparación a los medios acorazados de fases anteriores debido a la aparición de los primeros sistemas automáticos modernos, tales como los Sistemas de Protección Activa (APS) que permitían dotar a la tripulación de una mayor seguridad [4], [7].

1.2.4 Vehículos acorazados de cuarta generación

Al finalizar la SGM, la carrera armamentística entre la URSS y EEUU durante la Guerra Fría, permitió que los vehículos acorazados tuvieran nuevos desarrollos. Las novedosas apariciones de sistemas basados en electrónica durante esta época, generó que los medios de esta generación comenzaran a basarse en complejas estructuras electrónicas.

1.2.5 Vehículos acorazados de quinta generación

A comienzos del presente siglo, el entonces Jefe de Estado Mayor de Ejército de EEUU, el General Eric Shinseki, expuso que se estaba desarrollando una nueva percepción del combate, para lo que habría que crear nuevos tipos de vehículos acorazados; más livianos, capaces de combatir en otros terrenos diferentes a los convencionales, con la tecnología necesaria para hacer frente a nuevas amenazas [8]. A día de hoy se puede corroborar esas palabras, ya que durante la Guerra de Irak (2003-2011), la nueva táctica de los grupos insurgentes (uso de explosivos

improvisados IED) obligó a que se reestructuraran los vehículos acorazados, tanto en estructura, como en un mayor uso de tecnología para la detección del enemigo [9].

Los medios acorazados que pertenecen a esta generación están basados en una estructura totalmente electrónica y con grandes innovaciones tecnológicas en las que encontramos la utilización de camuflaje térmico, el uso de nuevos materiales para el blindaje de la barcaza, nuevos sensores que permiten la detección temprana de amenazas, así como el uso de municiones inteligentes junto con nuevos sistemas de armas y medidas de protección contra la Guerra Electrónica (EW) [10]. La mayoría de éstos se encuentran en fase de prototipo, tales como el Merkava IV israelí, el T-14 Armata ruso o el Leopard 3 alemán, y que se incorporarán en los ejércitos en las próximas décadas.

CAPÍTULO 2. PROSPECTIVA TECNOLÓGICA EN LAS UNIDADES DE CABALLERÍA E INFANTERÍA.

Los medios acorazados son unos de los materiales más sensibles a la evolución tecnológica de los ejércitos, lo que ha exigido constantes inversiones de las fuerzas armadas de los diferentes países para evitar su inoperatividad y/o desfase tecnológico.

Durante la última década se han realizado numerosos programas de modernización de los vehículos acorazados y blindados en los ejércitos (ver anexo A). En el ejército español, primeramente, se desarrolló el programa Coraza 2000, por el que se modernizó por completo la flota de vehículos acorazados del Ejército de Tierra, mediante la sustitución de los AMX30E, M47E y M48E por los M60 americanos y los carros de combate Leopard 2A4 alemanes. Más tarde, en 2003, se sustituyó el carro Leopard 2A4 por el carro Leopard 2-E, una nueva versión de su antecesor, fabricado en España con parte de su tecnología de origen nacional³. A día de hoy, el Ministerio de Defensa está involucrado en una nueva modernización de su flota de vehículos (el Programa 8x8), mediante la futura adquisición del vehículo Dragón 8x8 en las unidades de la Fuerza, así como una nueva actualización del Carro de Combate Leopard 2E.

2.1 Principales tendencias tecnológicas de las unidades acorazadas.

Hoy en día, la mayoría de los conflictos discurren en Oriente Medio (Siria, Irak, Afganistán), destacando los conflictos asimétricos en los que los grupos insurgentes no respetan las tradicionales reglas de enfrentamiento, actuando en zonas urbanizadas y mezclándose entre la población civil. Sin embargo, estos grupos pueden disponer de medios asimilables a cualquier ejército convencional, como son los medios acorazados. La combinación del combate de guerrillas junto con el uso de material bélico tradicional, es lo que se conoce en el día de hoy como combate asimétrico, donde las unidades aliadas requieren combinar la táctica convencional, con los nuevos procedimientos de combate contrainsurgente o asimétrico.

Para hacer frente a este nuevo entorno, es importante invertir en nuevos sistemas de armas que sean más efectivos en zonas urbanas, desarrollando nuevas municiones más eficaces y armas no letales, incorporando nuevos elementos electrónicos, aumentando la protección del vehículo (camuflajes que reduzcan la posibilidad de ser adquiridos por el enemigo y otros), así como mejorando el mando y control de las unidades terrestres, entre otros. A continuación se citan

³ El Leopard 2-E es una variante del Leopard 2A6, una versión más moderna del antiguo Leopard 2A4.

algunos elementos que se están desarrollando e incorporando en unidades mecanizadas/acorazadas.

Mayor protección de la tripulación

Los nuevos vehículos acorazados en desarrollo, como el T-14 Armata o el Leopard 3, presentan novedades como que la cámara del personal embarcado se encuentra en la proa de la barcaza (ver anexo B), combinado con un blindaje casi impenetrable. Con esto, se permite concentrar una coraza más gruesa en una zona concreta del vehículo, y así dotar ese espacio de una mayor protección, reduciendo el coste de cubrir toda la barcaza del carro con estos nuevos materiales, evitando un gran coste de fabricación y un aumento del peso del mismo.

Camuflajes térmicos

Para disminuir la posibilidad de ser localizados por los medios de adquisición de objetivos enemigos, una de las soluciones es la presencia de camuflajes que dificulten la localización.

Esta pintura, presenta un calor específico heterogéneo, por lo que desprende una firma térmica distorsionada, permitiendo variar la forma real de los vehículos en las imágenes de las cámaras térmicas enemigas. Con esto, los carros de combate pueden asemejarse a un vehículo no protegido, como un camión, haciendo que el enemigo no distinga la peligrosidad del vehículo, o use una munición errónea contra el mismo, permitiendo a las unidades aliadas, realizar un contraataque eficaz contra la amenaza.

Nuevas municiones y actualización de los Sistemas de Protección Activa (APS)

Es importante desarrollar municiones inteligentes (carga hueca, flecha, rompedor) que permitan ser programadas antes de ser disparadas para poder crear los efectos necesarios dependiendo del objetivo que se quiera batir, evitando así tener diferentes municiones en el vehículo. De esta manera, se aumentaría la capacidad de destrucción por proyectil. Por ello, los ejércitos tratan de buscar contramedidas a este tipo de municiones, como los nuevos sistemas de protección APS (se protegen de estos proyectiles tanto con municiones defensivas como con perturbadores y deslumbradores⁴) [11].

⁴ Los deslumbradores están destinados únicamente a distorsionar los mecanismos de guía de los misiles, mientras que los perturbadores deben ser capaces de destruirlos utilizando láseres de alta energía

Las nuevas actualizaciones de estos sistemas, permiten al vehículo amenazado, poder hacer frente a disparos mediante el giro de la torre hacia el origen del fuego e incluso poder disparar de forma autónoma, disminuyendo el tiempo de reacción.

Incorporación de medidas contra Guerra Electrónica (EW)

Como se comentó anteriormente las innovaciones tecnológicas en el mercado y las exigencias del combate, han hecho que los medios acorazados evolucionen a una estructura basada en la electrónica⁵. Por ello, la EW ha cobrado gran importancia en el campo de batalla, ya que permite inhibir a un medio acorazado sin necesidad de enfrentarse a él con fuegos directos. En España, la futura actualización del carro de combate Leopard 2E, incorporará medidas de protección contra guerra electrónica ⁶

Trenes de rodaje adaptables al terreno⁷

Aunque los conflictos actuales se desarrollen mayoritariamente en entornos urbanos, no hay que olvidar que el escenario puede variar en cualquier momento, volviendo a un combate simétrico similar a la SGM. Por ello, actualmente, unidades del Ejército de Tierra se instruyen en combate simétrico en Letonia (Misión Enhanced Presence de Letonia) [12], [13]. Para poder combatir en ambos escenarios de una forma más eficiente, ambos escenarios exigen diferente movilidad para sus vehículos (velocidad, maniobrabilidad, adaptación al terreno,...). Se estudia la incorporación de unas ruedas adaptables, que en función del terreno, puedan ser configuradas como cadena o como rueda, permitiendo así obtener el beneficio de los dos tipos de rodajes a la vez y evitando tener dos vehículos con dos tipos de tracción diferente. Si bien, esto no se podría aplicar a todos los vehículos acorazados, debido a algunas limitaciones, tales como el peso.

Incorporación de nuevos sistemas de armas

En entornos urbanos, al existir una mayor complejidad de localizar al enemigo, permite a los insurgentes atacar en cualquier lugar o momento. Para evitarlo, es necesario instalar diferentes sistemas de armas que permitan neutralizar una posible amenaza de forma rápida. El Ejército de

⁵ El Leopard 2E español posee una torre completamente basada en electrónica (meter estructura)

⁶ Dato extraído del informe realizado por el Brigada A.C.L sobre la convención de Instructores Avanzados de Tiro en el mes de enero de 2020.

⁷ Tecnología RWT – *Reconfigurable Wheel-Track*. Proyecto GXV-T

Tierra pretende instalar armas de submuniciones tipo Canister^{8 9} en sus vehículos acorazados para permitir neutralizar a personal que intente atacar los medios acorazados a cortas distancias.

Por otra parte, también hay una tendencia a la incorporación de plataformas de armamento por control remoto (RCWS), como la Estación Samson [2]. Con esto, la tripulación tiene la ventaja de poder usar el armamento colectivo (antiaérea MG-41A3, lanzagranadas automático LAG 40,...) desde el interior del vehículo, evitando la exposición del personal en caso de necesitar hacer fuego con estos sistemas de armas. En el programa 8x8 Dragón, se pretende incorporar una RCWS [14].

Mejora del mando y control de las unidades terrestres

La Revista Española de Defensa Avanza afirma [15]:

“Otro de los aspectos que se consideran clave es la Función de Mando y Control que permitirá proporcionar más velocidad y más precisión a las operaciones en el campo de batalla. Entre los materiales que están ya en fase de experimentación destaca el sistema de Mando y Control para pequeñas unidades (BMS) con Windows 10”.

La integración del Battle Management System (BMS) consiste en la instalación de una tableta en los puestos de jefe de vehículo, que permite a los jefes de las pequeñas unidades de Caballería e Infantería Mecanizada/Acorazada tener un mayor control de sus propios vehículos, así como de su flota subordinada. En esta pantalla táctil, el jefe tiene localizada sobre un plano digital a toda la unidad, pudiendo mandar mensajes de alerta, así como permitir una designación de objetivos de forma efectiva y rápida, actualizándose en los dispositivos de toda la formación.

Si es necesario, el BMS permite mandar información a escalones superiores o a la misma unidad a través de correo Outlook. Además, se puede visualizar el estado del vehículo, a la vez que muestra datos importantes para, por ejemplo, efectuar un tiro (cantidad de munición disponible, velocidad de salida del último proyectil,...) [16]. Actualmente, en el Programa Brigada 2035 [15], se pretende incorporar esta tecnología en todos los vehículos Pizarro, Leopardo 2E, Leopard 2A4 y VRC Centauro, a nivel jefe de Pelotón, Sección o Escuadrón/Compañía.

Este sistema ya ha sido usado en misiones reales (Letonia Enhanced Presence), mostrando su efectividad entre las unidades acorazadas del ejército español [13].

⁸ Arma con submuniciones de acero para distancias reducidas.

⁹ Dato extraído del informe realizado por el Brigada A.C.L sobre la convención de Instructores Avanzados de Tiro en el mes de enero de 2020.

Armas No Letales (NLW)

La presencia de personal no combatiente en el campo de batalla, requiere un mayor cuidado a la hora de usar diferentes sistemas de armas con capacidad letal. Para ello, invertir en la incorporación de armas no letales a los arsenales de las Fuerzas Armadas, permite incapacitar al objetivo sin producir bajas, disminuyendo así el riesgo de provocar daños colaterales entre la población. Aunque debe tenerse en cuenta que las armas no letales (como las microondas, de destellos o de ultrasonidos) pueden provocar daños irreversibles, como ceguera o cofosis¹⁰.

Modificaciones en el diseño de las barcasas

Una de las armas más usadas por los insurgentes en los últimos años son los Explosivos improvisados (IED) [9]. Para disminuir los efectos producidos por estos dispositivos, se han diseñado diferentes estructuras de barcasas que los protejan a los vehículos de estas amenazas. Estos novedosos diseños permiten, en caso de producirse una detonación del explosivo en la parte inferior del vehículo, la expansión de la onda de choque hacia el exterior del mismo, evitando así que la tripulación sufra daños.

Por otra parte, también se están diseñando barcasas donde la tripulación no está en contacto con el suelo del chasis, así como el diseño de una estructura modular, que permita el desprendimiento de partes del vehículo en caso de producirse una explosión, limitando la transferencia de la energía de la detonación hacia la tripulación (ver anexo C).

Mayor percepción del entorno

Desde el interior de los vehículos acorazados existe cierta dificultad de percepción del exterior debido a la complicada visión por los periscopios. Para ello, la instalación de cámaras en diferentes puntos de la barcaza y la retransmisión de las imágenes en una pantalla interior, puede permitir, tener una mayor visión del escenario para así actuar con una mayor celeridad en la detección de amenazas, además de evitar la exposición de la tripulación (el personal iría por el interior del vehículo). La mejora del Leopard 2 E a su versión más actualizada, incorporará una red de cámaras que transmitirá en tiempo real al Jefe de Carro las imágenes exteriores.¹¹

Quien más rápido detecta la amenaza, es el que obtiene la ventaja sobre el adversario, y por ello, se pretende implementar nuevas redes de sensores que permitan detectar amenazas que

¹⁰ Pérdida total de la audición.

¹¹ Dato extraído del informe del BG A.C.L sobre las jornadas de Instructores Avanzados de Tiro celebradas en Zaragoza en enero de 2020.

puedan afectar al material o al personal a bordo (detectores de IED, detectores acústicos de disparos, sensores de movimiento,...), así como mejorar la precisión en algunos sistemas electrónicos del vehículo (tales como el sensor meteorológico, que permita obtener los parámetros necesarios que posteriormente se introducen en la unidad de control de la dirección de tiro para un disparo de vehículo).

2.2 Sensores acústicos detectores de disparos

Uno de los problemas que presentan las unidades blindadas/acorazadas mientras realizan marchas motorizadas en Zona de Operaciones es la localización efectiva del origen de fuegos cuando son atacadas¹². Esto, se debe a la mala visibilidad exterior que tiene la tripulación embarcada. Con el propósito de poder saber la posición de la amenaza, dar información a escalones superiores o realizar una reacción a la misma de forma efectiva, los sensores acústicos detectores de disparos permiten detectar proyectiles de diversos calibres que amenacen a la unidad, dando información fiable sobre el origen de fuegos: distancia, altitud, orientación, y otros datos de interés: calibre detectado o número de disparos efectuados.

2.2.1 Partes del sistema

Por lo general, estos sistemas están formados por tres partes:

Sensor: consiste en una gama de micrófonos instalados sobre la barcaza del vehículo. Algunos modelos integran todos ellos sobre un afuste que se incorpora en la parte superior del chasis del vehículo¹³.

Ordenador: se encarga de procesar toda la información proveniente de los sensores del sistema, realizando los algoritmos necesarios para la localización de la amenaza.

Pantalla: todos los detectores de esta índole poseen una pantalla que enlaza con el ordenador y muestra los datos procesados por el mismo en una interfaz.

El sistema está interconectado por cable, ya sea Ethernet o cable ordinario. Además, es alimentado por las fuentes de corriente continua del vehículo (24V).

¹² Experiencias personales de Mandos del Arma de Caballería

¹³ El sistema Boomerang de BBN Technologies lleva los sensores en un afuste que se coloca en la parte trasera del vehículo.



Figura 1: Sensor acústico del sistema Boomerang. Fuente: INTRANET Defensa.

Figura 2: Ordenador y pantalla del sistema Boomerang. Fuente: INTRANET Defensa

2.2.2 Funcionamiento del sistema

Los micrófonos de la barcaza actúan como sensor del sistema. Éstos detectan la onda de sonido de proyectiles que se aproximan a una distancia menor a treinta metros [17] del vehículo donde está instalado el sistema. Por lo general, son sensibles a ondas supersónicas, por lo que las discierne de otros sonidos [18] (como el fogueo) [17]. Los sonidos recogidos por los sensores, son filo dirigidos al ordenador del sistema, el cual, por medio de algoritmos basados en el efecto Doppler y la triangulación de la intensidad acústica de los micrófonos [19], es capaz de distinguir la altura, distancia y orientación.

Si el mecanismo posee antena de Navegación Global por Satélite (GNSS), puede mostrar la posición en coordenadas del origen de fuegos. Todos estos datos se reflejan en la pantalla instalada en el interior del vehículo. Por otra parte, los artefactos más modernos presentes en el mercado, son capaces de diferenciar disparos propios y enemigos. El ordenador, según la intensidad que recibe el sensor, puede discriminar la señal, tratándola como un disparo efectuado desde el propio vehículo.

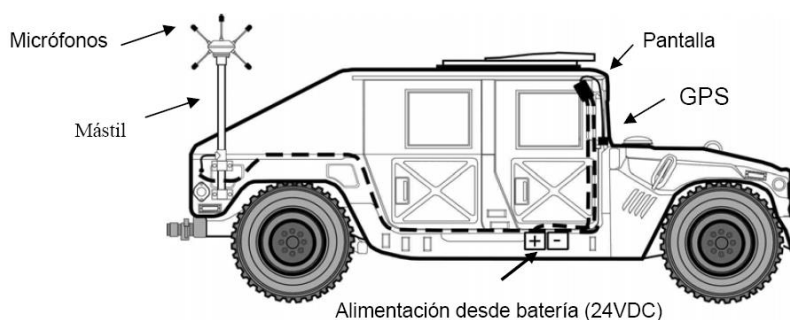


Figura 3: Croquis del montaje de un sistema detector de disparos en un Vehículo de Alta Movilidad Táctica (VAMTAC). Fuente: INTRANET Defensa.

2.2.3 Alternativas del mercado

Como ejemplo de toma de decisiones multicriterio en la elección de nuevas tecnologías a implantar en el Ejército, se realiza el estudio de la elección de un sistema acústico de detección de disparos. Para aplicar dicha metodología, hay que partir de un conjunto de alternativas o propuestas establecidas. En este caso, las propuestas a estudiar fueron elegidas de acuerdo a los juicios de expertos Oficiales y Suboficiales con alta experiencia en unidades acorazadas/mecanizadas del Regimiento Córdoba n.10. Se preguntó a un total de cuatro personas, coincidiendo todos ellos en que las tecnologías que se pueden implantar con éxito en el Ejército deben cumplir los siguientes requisitos:

Primer requisito: El fabricante debe ser una empresa que haya colaborado con ejércitos previamente. Si el dispositivo se ha usado en fuerzas armadas de otros países, esto permitirá conocer cómo ha sido su rendimiento en unidades similares y que fortalezas y debilidades se deberían explotar o mejorar a la hora de la implantación en nuestro ejército. Además, se elegirán alternativas que provengan de empresas que hayan colaborado con fuerzas armadas de países aliados, sabiendo así, por una parte, que el artefacto cumple con diversas normas y estándares establecidos por las Alianzas, tales como el STANAG 4751 (Norma que regula la electrónica en ámbito OTAN)..

Segundo requisito. La unión del bajo presupuesto invertido en Defensa, junto con la Estrategia Europea de Seguridad [20] obliga a que se tengan que aplicar el concepto de Pooling and Sharing¹⁴, para lo que las alternativas tienen que ser cercanas al entorno geográfico.

Los expertos proponen tres alternativas que cumplen con las dos exigencias expuestas. Estas opciones son: el sistema Pilar V de la empresa Metravib Defence, el dispositivo Boomerang de BBN technologies¹⁵ y el artefacto de la empresa Microflown AVISA, el Vehicle Based Gunshot Detector. A continuación se muestran las especificaciones técnicas de cada opción.

¹⁴ Consiste en el intercambio de conocimientos a modo de “solidaridad europea”, probablemente favorecidos por la crisis financiera y económica, de forma que se permita una cooperación estrecha entre países del entorno, pero sin crear dependencias de exclusividad. Con estas acciones se pretende reducir costes en los programas de actualización y en la obtención de capacidades futuras, mejorando la eficiencia común, evitando duplicidades.

¹⁵ Si bien el dispositivo Boomerang no es de un entorno geográfico cercano (EEUU), ha sido usado en países miembros de la OTAN.

PILAR V: METRAVIB[21]–[23]

ESPECIFICACIONES	
ALTURA	46 cm
MASA	4 kg
MÁXIMO ERROR EN AZIMUT	$\pm 5^\circ$
DATOS EN ELEVACIÓN	Sí
DETECCIÓN DE CALIBRES	5.56, 7.62, 12.7 >20mm
FIABILIDAD	95%
DETECCIÓN EN MOVIMIENTO	≤ 90 km/h
TIEMPO DE RESPUESTA	< 2s
COMPATIBILIDAD CON BMS	SI
LUGAR DE FABRICACIÓN	Francia

Tabla 1: Especificaciones técnicas dispositivo Pilar V de la empresa Metravib. Fuente: elaboración propia

BOOMERANG: BBN TECHNOLOGIES[17], [24].

ESPECIFICACIONES	
ALTURA	55.88 cm
MASA	6.8 kg
MÁXIMO ERROR EN AZIMUT	$\pm 2.5^\circ$
DATOS EN ELEVACIÓN	Sí
DETECCIÓN DE CALIBRES	<20mm
FIABILIDAD	95%
DETECCIÓN EN MOVIMIENTO	> 90 km/h
TIEMPO DE RESPUESTA	< 1.5s
COMPATIBILIDAD CON BMS	NO
LUGAR DE FABRICACIÓN	EEUU (actualmente solo da cobertura al US Army)

Tabla 2: Especificaciones técnicas dispositivo Boomerang. Fuente: elaboración propia.

VEHICLE BASED GUNSHOT DETECTOR: MICROFLOWN AVISA[25]

ESPECIFICACIONES	
ALTURA	26.5 cm
MASA	1.75 kg
MÁXIMO ERROR EN AZIMUT	± 5
DATOS EN ELEVACIÓN	NO
DETECCIÓN DE CALIBRES	<20mm
FIABILIDAD	90-95%
DETECCIÓN EN MOVIMIENTO	≤ 60 km/h
TIEMPO DE RESPUESTA	< 1s
COMPATIBILIDAD CON BMS	SI
LUGAR DE FABRICACIÓN	Países Bajos

Tabla 3: Especificaciones técnicas dispositivo Vehicle Based Gunshot Localisation System de la empresa Microflown Avisa Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA. EL MODELO AHP

Se busca una metodología que permita comparar las diferentes alternativas atendiendo tanto a aspectos cuantitativos como a aspectos cualitativos. En un problema de toma de decisiones donde intervienen múltiples criterios, es necesario usar herramientas que permitan comparar las diferentes alternativas con el fin de obtener una solución que satisfaga las necesidades propuestas [26]. Dentro de los diferentes métodos multicriterio existentes, en el presente trabajo se usará la metodología de Análisis Jerárquico de Procesos (AHP).

3.1 Los problemas multicriterio

La gran mayoría de las decisiones del día a día, presentan varias alternativas con diferentes conjuntos de criterios de selección, donde frecuentemente surge conflicto entre ellos. Los diferentes métodos multicriterio, permiten elegir una alternativa mediante una confrontación de los mismos [27]. Para tomar la decisión correcta es necesario, por una parte, disponer de la información necesaria para poder contrastar las opciones presentes, y por otra, presentar herramientas que faciliten la decisión.

Creado por Thomas L. Saaty en los años 70, el modelo AHP permite jerarquizar un proceso de decisión, y tiene como objetivo final optimizar la toma de decisiones gerenciales [28]. El método jerarquiza un conjunto de criterios y subcriterios, para finalmente evaluar las diferentes alternativas respecto a los mismos, proponiendo la solución que mejor se adapta.

3.2 Etapas del modelo AHP

El modelo consta de tres etapas: [29]

Etapas 1. Definir los criterios y subcriterios de decisión.

Etapas 2. Evaluar y jerarquizar los diferentes criterios y subcriterios mediante la comparación por pares.

Etapas 3. Jerarquización de alternativas tras la aplicación del método.

3.2.1 Definir los criterios y subcriterios de decisión

Para reducir la complejidad del problema, Saaty decidió utilizar la estructuración jerárquica para dar lugar a subproblemas homogéneos, que a su vez, están relacionados con el problema inicial. Obteniendo una solución a estos subproblemas, podemos obtener la solución a la cuestión planteada inicialmente. Esta jerarquización estará formada por tres niveles.

En un primer nivel (superior), se encontrará el objetivo a alcanzar, en este caso, obtención del mejor sistema detector.

En un segundo nivel (intermedio), se mostrarán los diferentes criterios y subcriterios escogidos para realizar el análisis.

En un tercer nivel (bajo), se colocarán las diferentes alternativas elegidas.

Los criterios y subcriterios que, según los expertos consultados (Especialistas en Electrónica del Regimiento Córdoba n10), son los más adecuados para valorar las alternativas son:

CALIDAD. Es necesario que el sistema presente una buena eficacia, preste buenos datos, sensibilidad y vida útil para poder servir con la mejor efectividad y durante el mayor tiempo en las unidades.

SENSIBILIDAD. Cuanto mejor sea la exactitud de los datos mostrados por el sistema, mayor fiabilidad tendrá el producto. Para ello, se compararán las diferentes alternativas a través de datos cuantitativos de sus especificaciones técnicas.

INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL APARATO. Es interesante que el sistema nos muestre la mayor cantidad de información posible con el fin de predecir de una manera más rápida y eficaz las amenazas del campo de batalla.

INTEGRACIÓN EN LAS UNIDADES. El dispositivo tiene que adaptarse tanto a las necesidades futuras del Ejército de Tierra, así como a las servidumbres impuestas por diferentes alianzas.

INTEGRACIÓN EN EL PROGRAMA BRIGADA 2035. El sistema tiene que adecuarse a las nuevas tecnologías que el Ejército de Tierra está implantando en las unidades para mejorar el mando y control de las unidades, tales como el Battle Management System (BMS).

FACILIDAD DE INTEGRACIÓN El dispositivo no tiene que tener una gran complejidad en su uso para evitar tener que formar a las tripulaciones para su utilización. Por otra parte, es necesario que las empresas con las que se negocien sean de países OTAN, ya que negociar con empresas de países aliados a España facilitará poder adaptarse a las diferentes normas que regulan la tecnología de los países aliados (STANAG 4754 de la OTAN), permitiendo así una menor complejidad en su implantación en las unidades acorazadas.

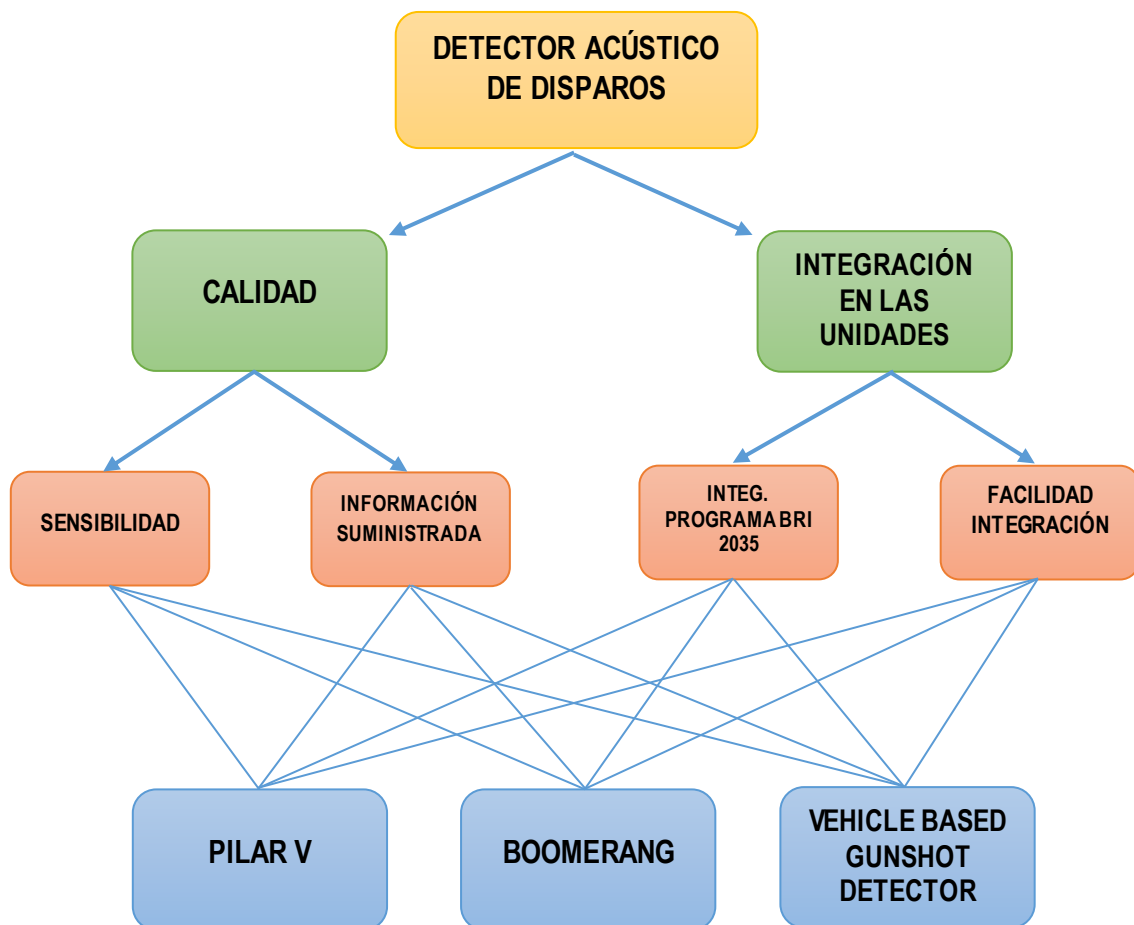


Figura 4: Diagrama en forma de árbol jerárquico según el proceso AHP. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Evaluar y jerarquizar los diferentes criterios y subcriterios mediante la comparación por pares.

Este modelo permite la comparación de factores tanto subjetivos como objetivos con datos cualitativos o cuantitativos, lo que dota al método de gran flexibilidad [26]. Para la cuantificación de los pesos de los diferentes niveles jerárquicos anteriores, se utilizará la tabla de valoración de los juicios siguiente.

ESCALA DE PREFERENCIAS	
VALORACIÓN LÍRICA	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA
A es extremadamente más preferible que B	9
entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
A es muy fuertemente preferible que B	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
A es fuertemente preferible que B	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
A es moderadamente preferible que B	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
A es igualmente preferible que B	1

Tabla 4: Escala de preferencias propuesta por Saaty. Fuente: Toskano y Hurtado (2005).

Mediante un cuestionario (Anexo D) que realiza un cotejo de dos opciones criterio-criterio; subcriterio-subcriterio) por pregunta (par a par), los expertos eligen una de las dos opciones presentadas en función de su opinión, valorando la opción con la intensidad que estimen oportuno (basado en la tabla 4).

A continuación se muestran los resultados de las ponderaciones de los diferentes criterios y subcriterios extraídos de las entrevistas.

CRITERIOS Y SUBCRITERIOS	N. PAX	RESULTADO	MEDIA ARITMÉTICA	MEDIA DEL MAYOR/MENOR	VALOR SAATY
CALIDAD	11	40	3,64	1,29	3,00
INTEGRACIÓN UNIDADES	11	31	2,82		
SENSIBILIDAD	11	36	3,27	1,29	3,00
INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL APARATO	11	28	2,55		
INTEG. HERRAMIENTAS BRI 2035	11	42	3,82	1,56	5,00
FACILIDAD DE INTEGRACIÓN	11	27	2,45		

Tabla 5: Resultados de ponderaciones de criterios y subcriterios. Fuente: elaboración propia

Con estos resultados, se obtienen una serie de ponderaciones para cada criterio y subcriterio. A continuación, se procede a realizar una media aritmética de los valores de cada una. Finalmente, se realiza el cociente de la media mayor entre la menor. Según el número obtenido

en este algoritmo, se procederá a dar un número entero (tabla 6), que corresponderá a la preferencia de la tabla 4. Así se obtiene la matriz de comparación.

Resultado	Valor según la escala de Saaty
[1; 1,1)	1
[1,1; 1,5)	3
[1,5; 3)	5
[3;4)	7
[4; ∞)	9

Tabla 6: Intervalos de ponderación según resultados. Fuente: Elaboración propia

Como ejemplo, los sumatorios obtenidos¹⁶ para los subcriterios sensibilidad (A) e información suministrada (B) son de A=36 y B=28. Si la encuesta se realizó a un total de once personas, la media aritmética de la valoración de A es de 3,27 y de B 2,55. Realizando la media mayor entre la media menor (3,27/2,55) obtenemos un valor de 1,28 correspondiendo (según la tabla 5) a un valor de Saaty de 3 unidades. Así, se puede asumir que el subcriterio sensibilidad es moderadamente preferible (según tabla 4) al subcriterio de información suministrada por el dispositivo. Tras haber realizado la graduación anterior, se crea la matriz de evaluación de criterios (A) de la siguiente forma

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix} \text{ donde } a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \text{ y } a_{ii} = 1$$

$$A = \begin{pmatrix} 1,00 & 3 \\ 0,33 & 1,00 \end{pmatrix}$$

Los resultados se muestran en la tabla de a continuación:

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE CRITERIOS (A)		
CRITERIOS	CALIDAD	INTEGRACIÓN EN UNIDADES
CALIDAD	1	3
INTEGRACIÓN EN UNIDADES	0,33	1

Tabla 7: Matriz de criterios. Fuente: elaboración propia.

Se crea la matriz normalizada (A'), donde se divide cada celda entre la suma de su columna. La estructura de la misma es la siguiente:

$$A' = \begin{pmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} & \dots & \frac{a_{1m}}{\sum a_{im}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} & \dots & \frac{a_{nm}}{\sum a_{im}} \end{pmatrix} \quad A' = \begin{pmatrix} \frac{1,00}{1,33} & \frac{3,00}{4,00} \\ \frac{1,33}{1,33} & \frac{4,00}{1,00} \\ \frac{0,33}{1,33} & \frac{1,00}{1,33} \end{pmatrix}$$

Obteniendo la matriz:

MATRIZ NORMALIZADA CRITERIOS (A')		
CRITERIOS	CALIDAD	INTEGRACIÓN EN UNIDADES
CALIDAD	0,75	0,75
INTEGRACIÓN EN UNIDADES	0,25	0,25

Tabla 8: Matriz normalizada de criterios. Fuente: elaboración propia.

Tras esto, calculamos la matriz de pesos relativos (W), que tiene la siguiente forma:

$$W \rightarrow \begin{pmatrix} a'_{11} & \dots & a'_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a'_{n1} & \dots & a'_{nm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix}; \quad W = \begin{pmatrix} \frac{X_1}{m} \\ \vdots \\ \frac{X_n}{m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} \frac{0,75+0,75}{2} \\ \frac{0,25+0,25}{2} \end{pmatrix}$$

Obteniendo:

MATRIZ DE PESOS (W)	
CRITERIOS	PESOS
CALIDAD	0,75
INTEG. UDS	0,25

Tabla 9: Matriz de pesos de los criterios calidad e integración en las unidades. Fuente: elaboración propia.

Cálculo de la consistencia de los pesos

Para obtener una mayor calidad de la decisión, es importante calcular la consistencia de los criterios que el experto valora durante las comparaciones pareadas.

Este método muestra un algoritmo para calcular la consistencia que además permite saber si las decisiones debían ser reconsideradas (consistencia inaceptable) antes de continuar con el proceso¹⁷.

Matemáticamente, una matriz se considera consistente si las columnas y filas son linealmente dependientes. En este análisis, al realizar la comparación por dos criterios y dos sub

¹⁷ Se considera inconsistente si el nivel de consistencia asumido (RI) es mayor a 0,1.

criterios genera algunas matrices de comparación de tamaño 2x2 y linealmente dependientes; por lo tanto, no habría que realizar un análisis de consistencia para ellas.

Para el resto de matrices, es necesario conocer la consistencia del proceso para ver la viabilidad de la metodología, por lo que se calcula la Razón de Inconsistencia (*RI*) de las matrices.

$$RI = \frac{IC}{CA}$$

Siendo *IC* el índice de consistencia y *CA* la consistencia aleatoria.

Cálculo de *IC*: $\frac{\lambda_{max} - N}{N - 1}$

Siendo *N* el tamaño de la matriz normalizada.

λ_{max} se obtiene mediante el producto de las matrices *A***W* y posteriormente se divide cada celda de la nueva matriz entre la w_i correspondiente de la matriz de pesos (*W*). Tras obtener esto, para obtener el índice de consistencia se necesita un solo valor de este parámetro, por lo que se calcula la media aritmética de los valores del vector *B* para obtener el valor promedio de λ_{max} .

$$\lambda_{max} = \frac{\lambda_{max1} + \dots + \lambda_{maxn}}{n}$$

Cálculo de *CA*: se pueden utilizar los siguientes valores:

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CA	0,00	0,00	0,58	0,89	1,11	1,24	1,32	1,40	1,45	1,49	1,51

Tabla 10: Valores de *CA* según el tamaño de la matriz normalizada. Fuente: T. L. Saaty (1988).

O un valor aproximado, dado por la siguiente fórmula:

$$CA = \frac{1,98(n - 2)}{n}$$

Para la realización de este análisis, se escogen los valores proporcionados por la tabla 10.

Sub-criterios de Calidad

$$A = \begin{pmatrix} 1,00 & \frac{1}{0,33} \\ \frac{1}{3,00} & 1,00 \end{pmatrix} \quad A' = \begin{pmatrix} \frac{1,00}{1,33} & \frac{3,00}{4,00} \\ \frac{0,33}{1,33} & \frac{1,00}{1,33} \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} \frac{0,75+0,75}{2} \\ \frac{0,25+0,25}{2} \end{pmatrix}$$

MATRIZ EVALUACIÓN SUBCRITERIOS DE CALIDAD (A)			
CALIDAD	SENSIBILIDAD	INFORMACIÓN DISPONIBLE	PESOS (W)
SENSIBILIDAD	1	3	0,75
INFORMACIÓN SUMINISTRADA	0,33	1	0,25

Tabla 11: Matriz evaluación alternativas del sub-criterio calidad. Fuente: elaboración propia.

Sub-criterios de Integración en unidades

$$A = \begin{pmatrix} 1,00 & \frac{1}{0,20} \\ \frac{1}{5,00} & 1,00 \end{pmatrix} \quad A' = \begin{pmatrix} \frac{1,00}{1,20} & \frac{5,00}{6,00} \\ \frac{0,20}{1,20} & \frac{1,00}{6,00} \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} \frac{0,83+0,83}{2} \\ \frac{0,17+0,17}{2} \end{pmatrix}$$

MATRIZ EVALUACIÓN SUBCRITERIOS DE INTEGRACIÓN EN UNIDADES (A)			
INTEGRACIÓN EN UNIDADES	HERRAMIENTAS BRI 2035	FACILIDAD DE INTEGRACIÓN	PESOS (W)
HERRAMIENTAS BRI 2035	1,00	5,00	0,83
FACILIDAD DE INTEGRACIÓN	0,20	1,00	0,17

Tabla 12: Matriz evaluación alternativas del sub-criterio integración en unidades. Fuente: elaboración propia.

3.3. Jerarquización de alternativas tras la aplicación del método.

Para las tres alternativas propuestas (2.2.4) se calcula la matriz de evaluación de cada alternativa preguntándoles a los encuestados la preferencia por cada alternativa en cada criterio y subcriterio.

Subcriterio Sensibilidad

$$A = \begin{pmatrix} 1,00 & 1,00 & 3,00 \\ 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 0,33 & 1,00 & 1,00 \end{pmatrix} \quad A' = \begin{pmatrix} \frac{1,00}{2,33} & \frac{1,00}{3,00} & \frac{3,00}{5,00} \\ \frac{1,00}{2,33} & \frac{1,00}{3,00} & \frac{1,00}{5,00} \\ \frac{0,33}{2,33} & \frac{1,00}{3,00} & \frac{1,00}{5,00} \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} 0,45 \\ 0,32 \\ 0,23 \end{pmatrix}$$

MATRIZ EVALUACIÓN ALTERNATIVAS				RI=0,03 ¹⁸
<i>SENSIBILIDAD</i>	PILAR V	BOOMERANG	VEHICLE BASED GUNSHOT	PESOS
PILAR V	1,00	1,00	3,00	0,45
BOOMERANG	1,00	1,00	1,00	0,32
VEHICLE BASED GUNSHOT LOCALISATION	0,33	1,00	1,00	0,23

Tabla 13: Matriz evaluación alternativas del subcriterio sensibilidad. Fuente: elaboración propia.

Subcriterio Información suministrada por el dispositivo

$$A = \begin{pmatrix} 1,00 & 3,00 & 5,00 \\ 0,33 & 1,00 & 3,00 \\ 0,33 & 0,33 & 1,00 \end{pmatrix} \quad A' = \begin{pmatrix} \frac{1,00}{1,66} & \frac{3,00}{4,33} & \frac{5,00}{9,00} \\ \frac{0,33}{1,66} & \frac{1,00}{4,33} & \frac{3,00}{9,00} \\ \frac{0,33}{1,66} & \frac{0,33}{4,33} & \frac{1,00}{9,00} \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} 0,62 \\ 0,25 \\ 0,13 \end{pmatrix}$$

MATRIZ EVALUACIÓN ALTERNATIVAS				RI=0,04
<i>INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL DISPOSITIVO</i>	PILAR V	BOOMERANG	VEHICLE BASED GUNSHOT LOCALISATION	PESOS
PILAR V	1,00	3,00	5,00	0,62
BOOMERANG	0,33	1,00	3,00	0,25
VEHICLE BASED GUNSHOT LOCALISATION	0,33	0,33	1,00	0,13

Tabla 14: Matriz evaluación alternativas del sub-criterio información suministrada por el aparato. Fuente: elaboración propia.

¹⁸ Ver anexo E

Subcriterio de Integración del sistema en el programa BRI 2035

$$A = \begin{pmatrix} 1,00 & 3,00 & 1,00 \\ 0,33 & 1,00 & 0,33 \\ 1,00 & 3,00 & 1,00 \end{pmatrix} \quad A' = \begin{pmatrix} \frac{1,00}{2,33} & \frac{3,00}{7,00} & \frac{1,00}{2,33} \\ \frac{0,33}{2,33} & \frac{1,00}{7,00} & \frac{0,33}{2,33} \\ \frac{1,00}{2,33} & \frac{3,00}{7,00} & \frac{1,00}{2,33} \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} 0,43 \\ 0,14 \\ 0,43 \end{pmatrix}$$

MATRIZ EVALUACIÓN ALTERNATIVAS (A)				RI=0,00
INTEGRACIÓN PROGRAMA BRI 2035	PILAR V	BOOMERANG	VEHICLE BASED GUNSHOT	PESOS (W)
PILAR V	1,00	3,00	1,00	0,43
BOOMERANG	0,33	1,00	0,33	0,14
VEHICLE BASED GUNSHOT LOCALISATION	1,00	3,00	1,00	0,43

Tabla 15: Matriz evaluación alternativas del sub-criterio integración en el Programa BRI 2035. Fuente: elaboración propia.

Subcriterio de Facilidad de integración en las unidades

$$A = \begin{pmatrix} 1,00 & 5,00 & 3,00 \\ 0,20 & 1,00 & 0,33 \\ 0,33 & 3,00 & 1,00 \end{pmatrix} \quad A' = \begin{pmatrix} \frac{1,00}{1,53} & \frac{5,00}{9,00} & \frac{3,00}{4,33} \\ \frac{0,20}{1,53} & \frac{1,00}{9,00} & \frac{0,33}{4,33} \\ \frac{0,33}{1,53} & \frac{3,00}{9,00} & \frac{1,00}{4,33} \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} 0,63 \\ 0,11 \\ 0,26 \end{pmatrix}$$

MATRIZ EVALUACIÓN ALTERNATIVAS (A)				RI=0,04
FACILIDAD DE INTEGRACIÓN	PILAR V	BOOMERANG	VEHICLE BASED GUNSHOT LOCALISATION	PESOS (W)
PILAR V	1,00	5,00	3,00	0,63
BOOMERANG	0,20	1,00	0,33	0,11
VEHICLE BASED GUNSHOT LOCALISATION	0,33	3,00	1,00	0,26

Tabla 16: Matriz evaluación alternativas del sub-criterio facilidad de integración. Fuente: elaboración propia.

Se procede a jerarquizar las alternativas en función de la preferencia en cada subcriterio y la ponderación de este último sobre el total. Este proceso permite ordenar las alternativas de mejor a peor, pudiendo así, obtener la alternativa óptima de entre las opciones presentadas.

CRITERIOS/ SUBCRITERIOS	PESOS	PILAR V	BOOMERANG	VEHICLED BASED GUNSHOT LOCALISATION
CALIDAD	0,75	0,49	0,30	0,21
Sensibilidad	0,75	0,45	0,32	0,23
Información disponible	0,25	0,62	0,25	0,13
INTEGRACIÓN EN UNIDADES	0,25	0,46	0,14	0,40
Integración con herramientas BRI 2035	0,83	0,43	0,14	0,43
Facilidad integración	0,17	0,63	0,11	0,26
		0,48	0,26	0,26

Tabla 17: Matriz de decisión final. Fuente: elaboración propia.

Esta última tabla refleja los datos necesarios para la jerarquización de las alternativas tras la aplicación del método en función del grado de idoneidad. La última fila resaltada en amarillo refleja la mejor opción.

Bajo los criterios y subcriterios establecidos, el modelo AHP muestran que el sistema con mayor peso ponderado global, y portanto, el que mejor se adapta en su conjunto a las condiciones presentadas, es el dispositivo Pilar V de la empresa Metravib Defence con un valor de 0,48. Se puede observar que en el criterio Calidad, el dispositivo Pilar V es el mejor valorado con una notable diferencia (0,49 frente a 0,30 de Boomerang y 0,21 del dispositivo de Microflown Avisa). Esto ha permitido que Pilar V obtenga una ventaja definitiva respecto a las otras alternativas debido al alto peso asignado al criterio mencionado (0,75 frente a 0,25). Por otra parte, también destaca en la ponderación de todos los subcriterios, estando por encima del resto, si bien, el instrumento Vehicle Based Gunshot Localisation System de la empresa AVISA, presenta igual ponderación que el Pilar V (0,43) en el subcriterio de Integración del sistema junto a las nuevas herramientas a implantar en el Programa Brigada 2035, ya que ambos tienen la capacidad de poder ser integrados en el BMS.

Como segunda opción, el dispositivo de la empresa AVISA destaca por su valoración en el criterio de integración en las unidades (0,40) frente al dispositivo Boomerang (0,14). Sin

embargo, el sistema Boomerang posee una mayor valoración en el criterio Calidad (0,30 frente a 0,21), que ha permitido que el artefacto de AVISA remonte su anterior desventaja. La ponderación global de ambos es de 0,26 unidades, por lo que, según el modelo aplicado, se estaría en indiferencia entre escoger una u otra alternativa. Para poder elegir, se podría realizar otros estudios con datos económicos o costes logísticos que permitiesen la introducción de nuevos parámetros y consideraciones de elección.

La aplicación del modelo del Análisis Jerárquico de Procesos indica el sistema Pilar V como la mejor opción para su implantación en las unidades acorazadas/mecanizadas del Ejército de Tierra.

CAPÍTULO IV: LÍNEAS FUTURAS Y CONCLUSIONES

4.1 Tendencias futuras

Para poder mantener la ventaja táctica, la tecnología seguirá implantándose en los materiales militares. Las últimas tendencias tecnológicas mostradas en el Capítulo II, muestran que existe una cierta propensión a alcanzar el mayor grado de automatismo posible. Por una parte, es necesario desarrollar nuevos sistemas automáticos que permitan una rápida adquisición de objetivos y un menor error en la identificación amigo-enemigo. Sin embargo, por otra parte, nunca hay que olvidar que muchas decisiones de combate tienen que ser llevadas a cabo por personas, debido a las consecuencias que puede acarrear, como por ejemplo, la vida de un soldado.

Además, existe una tendencia de mejora del mando y control de las unidades por parte de todos los ejércitos mediante herramientas digitales, tales como el BMS. Como se ha comentado, actualmente, en los conflictos asimétricos, es difícil controlar a la unidad subordinada debido a diversos factores como la identificación del enemigo o el conocimiento total del campo de batalla. Para ello, el disponer de este tipo de herramientas, permite a los jefes de las pequeñas unidades poder dirigir la flota de sus vehículos, así como saber en todo momento el estado de los mismos, pudiendo mandar cualquier información relevante a una unidad subordinada o a escalones superiores de una forma más rápida.

No menos importante es la relevancia que ha adquirido la Guerra Electrónica en el campo de batalla en los últimos años [10]. Esta vertiente del combate se encarga de inhibir toda la electrónica presente en el campo de batalla. Es necesario disponer de herramientas de medidas de protección (EPM) y contramedidas electrónicas (ECM) ya que, el disponer de medios acorazados con una estructura casi en su totalidad electrónica, dejaría fuera de combate a estos sistemas de armas si no poseen la protección adecuada.

4.2 Conclusiones

Las conclusiones extraídas del estudio de la implantación del sistema acústico son las siguientes: el estudio realizado con el modelo AHP, da una posible opción de implantación para las unidades del Ejército de Tierra español, no teniendo que ser la única. El estudiarlo para otro ejército, diferiría en algunos valores de los parámetros de los criterios y subcriterios, por lo que no se puede afirmar que el sistema Pilar V sea el mejor a implantar en ejércitos vecinos. También, como se comenta en el Capítulo II, habría que seguir ampliando este estudio para una posible introducción en los vehículos terrestres, tales como un análisis de viabilidad económica, así como contemplar una posible fabricación de este sistema en España, mediante un análisis *Make or Buy*, con el fin de ver las ventajas e inconvenientes de que el dispositivo sea producido en territorio nacional.

El análisis ha sido realizado para tres alternativas, que han sido seleccionadas bajo un criterio de expertos que puede estar sesgada por cierta subjetividad. El elegir otras condiciones, podría modificar el resultado final.

Este análisis presentado, puede ser de ayuda para entender por qué el Ejército de Tierra se encuentra en negociaciones con la empresa Metravib para la implantación del Pilar V en el futuro vehículo Dragón.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. S. Lind, C. K. Nightengale, C. J. F. Schmitt, C. J. W. Sutton y G. I. Wilson, "*The changing face of war: Into the fourth generation*," Global Insurgency and the Future of Armed Conflict: Debating fourth-generation warfare, 2007.
- [2] H. Larraín, "*Las amenazas asimétricas como una modalidad de resolución de conflictos*", Política y Estratégica, 2005.
- [3] T. Allen, G.; Chan, "*Artificial Intelligence and National Security*," Belfer Center Study, 2017.
- [4] A. Pando, "*Medios Acorazados. Diseño, estrategia y función*". Ediciones Ejército, 1991.
- [5] D. Quijano, "*Las causas de la Primera Guerra Mundial*," Claseshistoria, 2011.
- [6] H. Strachan, "*The First World War as a global war*", First World War Studies, 2010.
- [7] J. De Montoto y De Simón, J. "*Historia Militar. Técnicas, estrategias y batallas*". Libsa, 2013.
- [8] M. MacPherson, "*A Different War*," Long Time Passing, New Edition, 2018.
- [9] A. Ramasamy, A. M. Hill y J. C. Clasper, "*Improvised explosive devices: pathophysiology, injury profiles and current medical management.*," Journal of the Royal Army Medical Corps, 2009.
- [10] D. C. Schleher, "*Electronic Warfare in the Information Age*," Air Force Acad. No 3, 2014.
- [11] Fernández Mateos, F. "*Presente y futuro de los medios acorazados españoles*", Revista perfiles IDS, 2010
- [12] Ministerio de Defensa, "*Presencia Avanzada Reforzada-Letonia*". Disponible en: https://www.defensa.gob.es/misiones/en_exterior/actuales/listado/otan-efp-letonia.html. (consultado el 05/10/2019)
- [13] D. Tarifa Rodríguez. "*Letonia, un nuevo escenario*", Revista Española de Defensa, 2018.
- [14] Ministerio de Defensa, "*8x8, el fin de la espera*", 2018. Disponible en: http://www.ejercito.mde.es/reportajes/2018/61_8x8_fin_espera.html (consultado el 01/10/2019).
- [15] V. Hernández, "*Avanza, la Brigada 2035*", Revista Española de Defensa, 2019.
- [16] Atos Industries, "*Battle Management System*". Disponible en: <https://atos.net/en/solutions/command-control-systems/battle-management-system> (consultado el 09/10/2019)
- [17] Raytheon Company, "*State-of-the-Art Shooter Detection*." Disponible en: <https://www.raytheon.com/capabilities/products/boomerang> (consultado el 02/10/2020).
- [18] Academia de Infantería, "*Memorial de Infantería*", número 65, 2012.
- [19] J.E. Noriega, "*Análisis del campo sonoro y la molestia de la contaminación acústica en ciudades mediante el uso de redes de sensores*," 2017. Tesis Doctoral.
- [20] Consejo de la UE, Estrategia de Seguridad europea, "*A secure europe in a better world*", 2003.

- [21] Metravib Defence "*Pilar V new integrated gunshot detection system vehicle version*", folleto publicitario, 2013.
- [22] Metravib Defence, "*Pilar V- Metravib Defence*," folleto publicitario, 2017.
- [23] Army Recognition, "*METRAVIB PILAR V Acoustic Gunshot Detection System France*", 2019. Disponible en:
https://www.armyrecognition.com/france_french_army_military_equipment_uk/pilar_v_acoustic_gunshot_detection_system_metravib_france.html. (consultado el 28/09/2020).
- [24] BBN TECHNOLOGIES, "*Boomerang Shooter Detection Technology*". Folleto publicitario, 2014
- [25] Microflown AVISA, "*Vehicle Based Gunshot Localisation System.*" Folleto publicitario, 2017.
- [26] J. C. Osorio and J. P. Orejuela, "*El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación*," UTP, 2014.
- [27] Sanabria, M, "*La toma de decisiones con múltiples criterios. Un resumen conceptual y teórico*". Centro de Planificación y Gestión, Universidad Mayor de San Simón, 2001.
- [28] S. Kumar, "*The analytic hierarchy process*," European Journal of Operational Research, 2006.
- [29] A. Taoufikallah, "*El método AHP.*" Extracto de Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, 1998.
- [30] R. Pacheco, "*Derecho Internacional Humanitario y Derecho de la Guerra.*", Apuntes sobre compilación de convenios y temas sustanciales, 2000.
- [31] J. M. Navarro, "*El Ejército subcontrata la transformación de los TOA*," Disponible en:
<https://www.defensa.com/espana/ejercito-tierra-subcontrata-transformacion-toa>.
(Consultado el 08/10/2019)

ANEXOS

ANEXO A: CAMBIOS ACTUALES EN EL EJÉRCITO DE TIERRA (PLAN DE TRANSICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA FUERZA 2018)[11].

Carros de combate: actualización de vehículos especiales (cambio de barcaza de M-60 a LEOPARDO 2E en los carro de recuperación, vehículo de zapadores o Vehículos Lanzapuentes (VLP). Posible actualización del Carro Leopardo al Leopardo+.

Vehículos de reconocimiento: Actualización de una nueva versión del VRC Centauro. Cambio del Vehículo de Exploración de Caballería (VEC) por el vehículo 8x8 en la modalidad de vehículo de reconocimiento.

Vehículos acorazados de cadenas: Modernización de los actuales Vehículo de Combate de Caballería/ Infantería (VCC/VCI) Pizarro. Actualización de los vehículos M113, ya subcontratada en 2018 y actualmente produciéndose en el Parque y Centro de Mantenimiento de Sistemas Acorazados 2 (PCMASA 2) [31].

Vehículos Acorazados de Ruedas: Introducción del vehículo Dragón 8x8 (Programa 8x8) y actualización de vehículos tácticos ligeros.

Piezas Autopropulsadas (ATP): introducción de piezas Autopropulsadas (ATP) sobre ruedas (Fuerza Ligera) y sobre cadenas (Fuerzas Pesadas).

ANEXO B: ESTRUCTURA DEL CARRO DE COMBATE T-14 ARMATA¹⁹

Armata T-14: El novedoso carro de combate ruso

Cañón: 2A82 de calibre 125 milímetros
Ametralladoras: Kord de calibre 12,7 milímetros y PKTM de 7,62 milímetros
Distancia máxima de ataque: 7.000 metros
Peso máximo: 48 toneladas
Velocidad máxima: 80-90 km/h
Tripulación: 3 personas

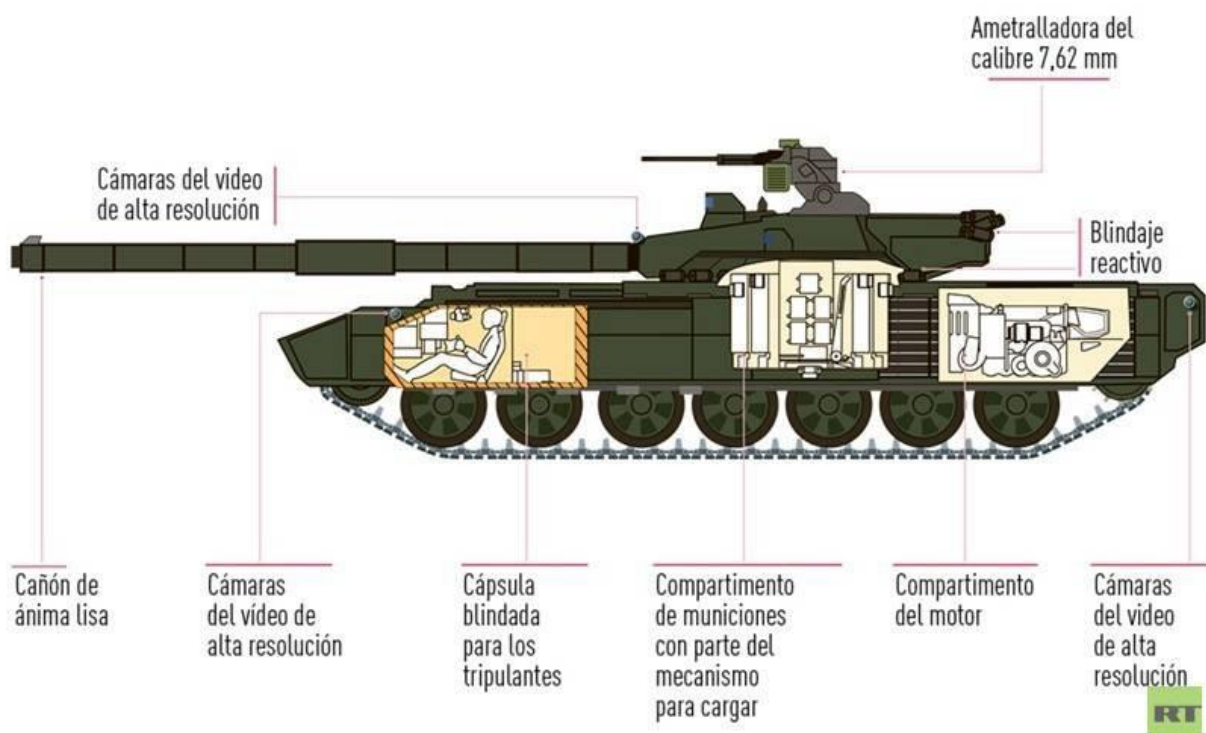


Figura 5: Estructura de la disposición general de la barcaza del CC T-14 Armata. Fuente: <https://actualidad.rt.com/rtpedia/178405-plataforma-tanque-armata-ejercito-rusia>

ANEXO C: BARCAZA MODULAR CONTRA IED.



Figura 5: Barcaza modular del vehículo Foxhound. Fuente: <http://tecnologamilitar.blogspot.com/2011/12/reino-unido-nuevas-tecnologias-contra.html>

ANEXO D: CUESTIONARIO RELACIONADO CON EL CASO ESTUDIADO.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.²⁰

ALTERNATIVAS AL SISTEMA DETECTOR ACÚSTICO DE DISPAROS

CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DE CRITERIOS, SUBCRITERIOS Y ALTERNATIVAS PARA SU ANÁLISIS MEDIANTE EL PROCESO AHP (ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS)

La realización de este cuestionario es totalmente voluntaria.
Si tiene dudas durante la confección del presente cuestionario,
pregunte al responsable.

Empleo:

Nombre y apellidos:

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

²⁰ Diseño basado en el Trabajo de Fin de Grado: ALTERNATIVAS AL OBÚS DE ARTILLERÍA DE CAMPAÑA AUTOPROPULSADO M-109 A5E. Teniente D. Pedro Pérez Hernando. 2018.

EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS

Se proponen dos criterios:

CALIDAD: La calidad del dispositivo consiste en, mostrar los datos de la manera más fiable, con la menor posibilidad de error y que nos muestre los datos de la forma más óptima.

FACILIDAD DE INTEGRACIÓN EN LAS UNIDADES: La integración del dispositivo en las unidades es importante. Por una parte, el uso de los datos extraídos por el sistema debe ser integrable junto a nuevas tecnologías de Mando y Control, como el sistema BMS. Por otra parte, usar el sistema de empresas de países vecinos pueden reducir los costes logísticos de transporte, repuestos, revisiones...

A continuación, marque con una X debajo del criterio **que considere más importante** y evalúe el criterio elegido de 1 a 9 según la siguiente escala.

En caso de que los considere **igual de importantes**, marque cualquiera de ellos y valórelo con 1.

ESCALA DE PREFERENCIAS	
	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA
A es extremadamente más preferible que B	9
entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
A es muy fuertemente preferible que B	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
A es fuertemente preferible que B	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
A es moderadamente preferible que B	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
A es igualmente preferible que B	1

CALIDAD

FACILIDAD DE INTEGRACIÓN EN UNIDADES

VALORACIÓN

EVALUACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS

Los sub-criterios elegidos son los siguientes:

CALIDAD

Sensibilidad. Cada dispositivo muestra los datos con diferente sensibilidad (mayor o menor tiempo de respuesta, fiabilidad, errores de azimut...)

Información Disponible. No todos los dispositivos nos ofrecen las mismas capacidades para recopilar la información. Datos en altura, tecnología GPS, realimentación de datos anteriores,...

A continuación, marque con una X debajo del subcriterio **que considere más importante** y evalúe el subcriterio elegido de 1 a 9 según la siguiente escala.

En caso de que los considere **igual de importantes**, marque cualquiera de ellos y valórela con 1.

ESCALA DE PREFERENCIAS	
	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA
A es extremadamente más preferible que B	9
entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
A es muy fuertemente preferible que B	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
A es fuertemente preferible que B	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
A es moderadamente preferible que B	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
A es igualmente preferible que B	1

Sensibilidad

Información disponible

Valoración

EVALUACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS

Los sub-criterios elegidos son los siguientes:

INTEGRACIÓN EN UNIDADES:

Integración en el programa Bri 2035: Es importante aprovechar los nuevos sistemas que están siendo implementados, se puede integrar con el sistema BMS que poco a poco se está incorporando a las unidades o han tenido contacto con las empresas de fabricación de nuevos vehículos (8x8 español).

Facilidad de Integración: Dependiendo del lugar de fabricación (más cercanía, supuestos menores costes logísticos), uso en alianza OTAN (cumple con STANAG 4754) nos supondría una mayor facilidad para la incorporación en nuestras unidades.

*A continuación, marque con una X debajo del subcriterio **que considere más importante** y evalúe el subcriterio elegido de 1 a 9 según la siguiente escala.*

*En caso de que los considere **igual de importantes**, marque cualquiera de ellos*

ESCALA DE PREFERENCIAS	
	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA
A es extremadamente más preferible que B	9
entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
A es muy fuertemente preferible que B	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
A es fuertemente preferible que B	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
A es moderadamente preferible que B	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
A es igualmente preferible que B	1

y valórelo con 1.

Integración herramientas

Facilidad integración

Valoración

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En función de la información que posee de las diferentes alternativas y de los sub-criterios estudiados, indique **para cada subcriterio**, la alternativa que mejor lo cumple, nombrándola como **A, B o C**, así como **la valoración** que da al nivel de cumplimiento comparado con las otras alternativas, según la siguiente escala.

ESCALA DE PREFERENCIAS	
	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA
A es extremadamente más preferible que B	9
entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
A es muy fuertemente preferible que B	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
A es fuertemente preferible que B	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
A es moderadamente preferible que B	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
A es igualmente preferible que B	1

ALTERNATIVA A: PILAR V

ALTERNATIVA B: BOOMERANG

	ALTERNATIVA (A, B)	VALORACIÓN
Sensibilidad	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Información disponible	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Integración en programa BRI 2035	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Facilidad de integración	<input type="text"/>	<input type="text"/>

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En función de la información que posee de las diferentes alternativas y de los sub-criterios estudiados, indique **para cada subcriterio**, la alternativa que mejor lo cumple, nombrándola como **A, B o C**, así como **la valoración** que da al nivel de cumplimiento comparado con las otras alternativas, según la siguiente escala.

ESCALA DE PREFERENCIAS	
	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA
A es extremadamente más preferible que B	9
entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
A es muy fuertemente preferible que B	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
A es fuertemente preferible que B	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
A es moderadamente preferible que B	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
A es igualmente preferible que B	1

ALTERNATIVA B: BOOMERANG
ALTERNATIVA C: VEHICLED BASED
GUNSHOT DETECTOR

	ALTERNATIVA (B, C)	VALORACIÓN
Sensibilidad	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Información disponible	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Integración en programa BRI 2035	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Facilidad de integración	<input type="text"/>	<input type="text"/>

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En función de la información que posee de las diferentes alternativas y de los sub-criterios estudiados, indique **para cada subcriterio**, la alternativa que mejor lo cumple, nombrándola como **A, B o C**, así como la **valoración** que da al nivel de cumplimiento comparado con las otras

ESCALA DE PREFERENCIAS	
	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA
A es extremadamente más preferible que B	9
entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
A es muy fuertemente preferible que B	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
A es fuertemente preferible que B	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
A es moderadamente preferible que B	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
A es igualmente preferible que B	1

alternativas, según la siguiente escala.

ALTERNATIVA A: PILAR V
ALTERNATIVA C: VEHICLED BASED
GUNSHOT DETECTOR

	ALTERNATIVA (A,C)	VALORACIÓN
Sensibilidad	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Información disponible	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Integración en programa BRI 2035	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Facilidad de integración	<input type="text"/>	<input type="text"/>

ANEXO E: DATOS DE LA CONSISTENCIA DE LAS DIFERENTES MATRICES DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Sensibilidad

A*W		
1,42	CI	0,02
1,00	RI	0,66
0,63	CR	0,03
3,05		

Tabla 18: Cálculo de la consistencia del sub-criterio sensibilidad. Fuente: elaboración propia

Información suministrada por el dispositivo,

A*W		
1,95	CI	0,03
0,79	RI	0,66
0,32	CR	0,04
3,06		

Tabla 19: Cálculo de la consistencia del sub-criterio Información suministrada por el dispositivo. Fuente: elaboración propia

Integración en el Programa BRI 2035

AXP		
1,29	CI	0
0,43	RI	0,66
1,29	CR	0
3,00		

Tabla 20: Cálculo de la consistencia del sub-criterio Integración en el Programa BRI 2035. Fuente: elaboración propia

Facilidad de integración en las unidades

AXP		
1,95	CI	0,03
0,32	RI	0,66
0,79	CR	0,04
3,06		

Tabla 21: Cálculo de la consistencia del sub-criterio Facilidad de integración en las unidades. Fuente: elaboración propia

